

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
27. Februar 2003 (27.02.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/017004 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G03F 7/20

[DE/DE]; Beethovenstr. 21, 73430 Aalen (DE). HAAG,  
Ulrich [DE/DE]; Bischof-Fischer-Str. 5, 73430 Aalen  
(DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/08695

(22) Internationales Anmeldedatum:  
5. August 2002 (05.08.2002)

(74) Anwälte: OSTERTAG, Ulrich usw.; Eibenweg 10, 70597  
Stuttgart (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

(30) Angaben zur Priorität:  
101 40 208.2 16. August 2001 (16.08.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): CARL ZEISS SEMICONDUCTOR MANUFAC-  
TURING TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; Carl-Zeiss-  
Str. 22, 73447 Oberkochen (DE).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WEISS, Markus

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: OPTICAL ARRAY

(54) Bezeichnung: OPTISCHE ANORDNUNG

(57) Abstract: The invention relates to an optical array (1), especially a projection lighting facility for microlithography. Said array has a slot-shaped image field or a non rotation-symmetrical illumination (3). The array also has at least one optical element (4) and at least one correction beam device (6-13) comprising a correction beam source (6) which supplies a correction beam (5) to the optical element (4) in such a way that the representation characteristics of the optical element (4) are corrected with a correction beam as a result of heat impingement on the optical element (4). The correction beam device (6-13) comprises a scanning device (8, 9, 10) having at least one scan mirror (8), wherein said scan mirror (8) is irradiated and controlled in such a way that a defined area of an optical surface of the optical element (4) is scanned with a correction beam (5). This makes it possible to flexibly correct or adjust the representation characteristics of the optical array (1) in a targeted manner.

(57) Zusammenfassung: Eine optische Anordnung (1), insbesondere eine Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie, weist ein schlitzförmiges Bildfeld oder eine nicht rotationssymmetrische Beleuchtung (3) auf. Ferner umfasst sie mindestens ein optisches Element (4) und mindestens eine Korrekturstrahlungsquelle (6) umfassende Korrekturstrahlungseinrichtung (6 bis 13) die dem optischen Element (4) Korrekturstrahlung (5) derart zuführt, dass die Abbildungseigenschaften des optischen Elements (4) durch die Wärmebeaufschlagung des optischen Elements (4) mit Korrekturstrahlung (5) korrigiert werden. Die Korrekturstrahlungseinrichtung (6 bis 13), umfasst eine Scaneinrichtung (8, 9, 10) mit mindestens einem Scanspiegel (8), wobei der Scanspiegel (8) derart bestrahlt und angesteuert ist, dass ein definierter Bereich einer optischen Oberfläche des optischen Elements (4) mit Korrekturstrahlung (5) abgescannt wird. Hierdurch lassen sich die Abbildungseigenschaften der optischen Anordnung (1) gezielt und flexibel korrigieren bzw. justieren.

WO 03/017004 A2

## Optische Anordnung

=====

05

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung, insbesondere eine Projektions-Belichtungsanlage der Mikrolithographie, insbesondere mit nicht rotationssymmetrischer Beleuchtung, z.B. mit schlitzförmigem Bildfeld,

10

- a) mit mindestens einem optischen Element und
- b) mit einer mindestens eine Korrekturstrahlungsquelle umfassenden Korrekturstrahlungseinrichtung, die dem optischen Element Korrekturstrahlung derart zuführt, daß die Abbildungseigenschaften des optischen Elements durch die Wärmebeauschlagung des optischen Elements mit Korrekturstrahlung korrigiert werden.

20

Eine derartige optische Anordnung ist aus der EP 0 823 662 A2 bekannt. Dort werden Korrekturstrahlen parallel zum Projektionslicht durch das Projektionsobjektiv geleitet. Die Korrekturstrahlung wird dabei von dem mindestens einen optischen Element absorbiert. Dies führt zu einer Beeinflussung der Abbildungseigenschaften des optischen Elements, was zu Korrekturzwecken ausgenutzt wird.

Eine derartige Korrekturstrahlungseinrichtung ist in der Justage sehr aufwendig und schränkt das nutzbare Objektfeld ein, da in dessen Bereich die Korrekturstrahlen in die Projektionsoptik eingekoppelt werden. Eine Anpassung an sich ändernde Korrekturerfordernisse ist mit dieser Anordnung nur sehr eingeschränkt möglich.

35

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine optische Anordnung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß eine flexible Korrektur der optischen Eigenschaften des mindestens einen optischen Elements  
05 ermöglicht ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Korrekturstrahlungseinrichtung eine Scaneinrichtung mit mindestens einem Scanspiegel umfaßt, wobei der Scan-  
10 spiegel derart bestrahlt und angesteuert ist, daß ein definierter Bereich einer optischen Oberfläche des optischen Elements mit Korrekturstrahlung abgescannt wird.

Erfindungsgemäß läßt sich über die Ansteuerung des Scanspie-  
15 gels der Einfluß der Korrekturstrahlungseinrichtung auf die Abbildungseigenschaften des optischen Elements flexibel gestalten. Als Freiheitsgrade für den Einfluß der Korrekturstrahlung auf die Abbildungseigenschaften stehen die Gestaltung des abzuscannenden Oberflächenbe-  
20 reichs des optischen Elements oder z.B. auch die ggf. lokal variierende Scangeschwindigkeit zur Verfügung. Auf diese Weise lassen sich auch stark von der Rotationssymmetrie abweichende Abbildungsfehler korrigieren. Nichtrotationssymmetrische Abbildungsfehler können z.B. durch  
25 eine Off-Axis-Beleuchtung, also eine zur optischen Achse der Projektionsoptik geneigte Beleuchtung, entstehen. Mit Hilfe der erfindungsgemäßen optischen Anordnung korrigierbar sind Abbildungsfehler, die vom Projektionslicht induziert werden, oder auch solche, die sich ohne Projek-  
30 tionslichteinfluß aus der Anordnung oder Ausgestaltung des mindestens einen optischen Elements ergeben.

Bevorzugt ist eine Mehrzahl von zusammenarbeitenden Korrekturstrahlungsquellen mit zugeordneten Scanspiegeln  
35 vorgesehen. Hierdurch können auch optische Flächen mit

Korrekturstrahlung beaufschlagt werden, die z.B. aus Gründen der Zugänglichkeit oder der Formgebung der optischen Fläche mit einer einzigen Korrekturstrahlungsquelle nicht erreicht werden können. Die Korrekturstrahlungseinrichtung kann in diesem Fall auch bei flachen Einstrahlwinkeln eingesetzt werden, z.B. wenn das optische Element direkt angestrahlt werden muß und der Abstand zwischen benachbarten optischen Elementen klein ist oder wenn Reflexe der Korrekturstrahlung in Richtung der optischen Achse der Projektionsoptik vermieden werden sollen. Auch eine stärker gekrümmte Oberfläche des optischen Elements läßt sich durch Verwendung mehrerer Korrekturstrahlungsquellen mit Korrekturstrahlung beleuchten. Zudem kann eine Ausführung der Korrekturstrahlungseinrichtung realisiert werden, bei der mehrere Korrekturstrahlen sich in einem Punkt auf der zu bestrahlenden Oberfläche des optischen Elements überlagern. In diesem Falle können die Intensitäten der einzelnen Korrekturstrahlen so ausgelegt sein, daß sich nur am Überlagerungspunkt eine Intensität mit merklicher Korrekturwirkung ergibt. Die Korrekturstrahlen können daher durch andere optische Elemente hindurchgeführt werden, ohne deren Abbildungseigenschaften spürbar zu beeinflussen. Schließlich kann bei Einsatz mehrerer Korrekturstrahlungsquellen auch eine Mehrzahl optischer Elemente bestrahlt werden.

Eine Einrichtung zur Intensitätsmodulation des Korrekturlichts kann vorgesehen sein, die mit der Scaneinrichtung zusammenarbeitet. Dies erhöht nochmals die Flexibilität der Korrekturstrahlungseinrichtung. Über die Variation der Intensität der Korrekturstrahlung über den abgescannten Oberflächenbereich läßt sich die thermische Beeinflussung der angestrahlten Oberfläche selektiv steuern.

Die Scaneinrichtung kann in Signalverbindung mit einer

die optische Anordnung überwachenden Sensoreinrichtung stehen, wobei die Scaneinrichtung die von der Sensoreinrichtung empfangenen Signale zur Ansteuerung des abzu-scannenden Bereichs des optischen Elements verarbeitet.

05 Dies erlaubt einen geregelten Betrieb der Korrekturstrahlungseinrichtung, bei der die Korrekturstrahlbeaufschlagung abhängig von ihrer Wirkung auf das optische Element gesteuert wird. Die Sensoreinrichtung kann beispielsweise eine Temperaturmesseinrichtung des mindestens einen

10 optischen Elements aufweisen. Ein Beispiel hierfür ist eine Wärmebildkamera.

Die Sensoreinrichtung kann die Abbildungseigenschaften der optischen Anordnung überwachen. Eine derartige Über-

15 wachung erlaubt die präziseste Kontrolle des Betriebs der Korrekturstrahlungseinrichtung.

Die Sensoreinrichtung kann ein positionsempfindlicher optischer Sensor sein. Derartige Sensoren sind, beispielsweise als Quadrantendetektoren, auch in sehr preisgünstigen Varianten erhältlich.

20

Der Sensor kann ein CCD-Array sein. Ein derartiges Array hat eine hohe Positionsauflösung und weist zudem eine hohe

25 Lichtempfindlichkeit auf.

Die Sensoreinrichtung kann alternativ oder zusätzlich die Temperatur der optischen Anordnung, insbesondere des optischen Elements, überwachen. Das Ergebnis einer

30 derartigen Überwachung läßt sich mit Hilfe relativ einfacher Algorithmen in ein Eingangs-Steuersignal für die Scaneinrichtung umsetzen.

Die Sensoreinrichtung kann dabei eine Wärmebildkamera

35 umfassen. Eine Wärmebildkamera liefert eine ausreichende

Orts- und Temperaturauflösung für den angegebenen Überwachungszweck.

Bevorzugt ist die Korrekturstrahlungsquelle ein Laser.

- 05 Mit einem Laser läßt sich ein gut gebündelter Korrekturstrahl erzeugen, der auch bei beengten räumlichen Verhältnissen zielgenau geführt werden kann. Zudem lassen sich mit kommerziellen Lasern Wellenlängen erzeugen, die von den gängigen optischen Materialien für Projektionsoptiken von Projektionsbelichtungsanlagen gut absorbiert werden und sich daher für Korrekturstrahlen besonders gut eignen.

- Die Korrekturstrahlungsquelle kann in ihrer Wellenlänge veränderlich sein. Dies schafft einen zusätzlichen Freiheitsgrad für die Beeinflussung der Abbildungseigenschaften des mindestens einen optischen Elements durch die Korrekturstrahlung. Je nach der eingestellten Wellenlänge der Korrekturstrahlung und der hierfür resultierenden Absorption des Materials des mindestens einen optischen Elements ergibt sich eine bestimmte Eindringtiefe für die Korrekturstrahlung, welche sich in einer bestimmten Beeinflussung der Abbildungseigenschaften des optischen Elements äußert. Dies kann z.B. zur Feinabstimmung der Korrekturwirkung genutzt werden.

- Die Emissionswellenlänge der Korrekturstrahlungsquelle ist vorzugsweise größer als  $4\text{ }\mu\text{m}$ . Gebräuchliche optische Materialien für Projektionsoptiken von Projektionsbelichtungsanlagen weisen im Wellenlängenbereich oberhalb von  $4\text{ }\mu\text{m}$  Absorptionskanten auf. Bei noch größeren Wellenlängen absorbieren diese Materialien stark, so daß auch mit Korrekturstrahlen geringer Leistung ein relativ großer thermischer Eintrag in das bestrahlte optische Element gegeben ist und eine entsprechende Korrekturwirkung

resultiert. Bei einer Wellenlänge der Korrekturstrahlung im Bereich einer Absorptionskante läßt sich die Eindringtiefe durch eine moderate Wellenlängenänderung des Korrekturstrahls relativ stark variieren.

05

Die optische Anordnung kann mehrere optische Elemente umfassen, die von der Korrekturstrahlung durchstrahlt werden, wobei die Wellenlänge der Korrekturstrahlung und die Materialauswahl der optischen Elemente derart  
10 sind, daß nur das mindestens eine optische Element, dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, von der Korrekturstrahlung mit Wärme beaufschlagt wird. Bei einer derartigen Anordnung kann die Korrekturstrahlung durch die diese nicht oder nur wenig absorbierenden  
15 optischen Elemente in Richtung auf das mit Korrekturstrahlung zu bestrahlende optische Element geführt werden. Auch nicht direkt zugängliche optische Elemente können auf diese Weise mit Korrekturstrahlung beaufschlagt werden.

20

Die optische Anordnung kann mehrere optische Elemente umfassen und die Korrekturstrahlung kann so gerichtet sein, daß nur das mindestens eine optische Element, dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen,  
25 von der Korrekturstrahlung bestrahlt wird. Bei dieser Anordnung ist die Materialauswahl der nicht mit Korrekturstrahlung beaufschlagten Elemente nicht eingeschränkt.

Das optische Element, dessen Abbildungseigenschaften  
30 korrigiert werden sollen, kann eine Absorptionsbeschichtung für die Korrekturstrahlung aufweisen. Mittels einer derartigen Beschichtung läßt sich eine Korrekturwirkung auch dann erzielen, wenn das Material, aus dem das optische Element besteht, selbst die Korrekturstrahlung  
35 nicht absorbiert. Die Abhängigkeit der Absorption der

- Absorptionsbeschichtung von der Wellenlänge läßt sich so vorgeben, daß bei Verwendung einer durchstimbaren Korrekturstrahlungsquelle im Durchstimbereich unterschiedliche Absorptionen der Absorptionsbeschichtung vorliegen.
- 05 Auf diese Weise läßt sich über die Wellenlänge der Korrekturstrahlung die Korrekturwirkung auf das optische Element mit der Absorptionsbeschichtung zusätzlich beeinflussen.

- Die optische Anordnung kann in bekannter Weise eine
- 10 Projektionslichtquelle aufweisen, die eine projektionslichtempfindliche Schicht auf einem Substrat beleuchtet. In diesem Fall ist erfindungsgemäß die projektionslichtempfindliche Schicht so ausgeführt, daß sie von der Korrekturstrahlung nicht beeinflußt wird. Der Strahlengang
- 15 der Korrekturstrahlung kann frei gewählt werden und es muß nicht verhindert werden, daß die Korrekturstrahlung oder Reflexe hiervon das Substrat belichten.

- Das optische Element kann ein refraktives optisches Element
- 20 sein. Refraktive optische Elemente können mit Korrekturstrahlung derart beaufschlagt werden, daß sie diese entweder in einem Bereich nahe der Oberfläche oder erst über eine größere optische Weglänge innerhalb des optischen Elements absorbieren. Jedes dieser beiden unterschiedlichen
- 25 Absorptionsverhalten führt zu einer charakteristisch unterschiedlichen Korrekturwirkung einer entsprechenden Korrekturbestrahlung. Dies kann je nach zu beeinflussender Abbildungseigenschaft selektiv ausgenutzt werden.

- 30 Alternativ kan das optische Element für die Strahlung einer Projektionslichtquelle reflektierend sein. Die Beaufschlagung eines derartigen optischen Elements mit Korrekturstrahlung führt über die Deformation der das Projektionslicht reflektierenden optischen Oberfläche zu
- 35 einer optischen Korrekturwirkung, die wesentlich stärker



ist als die optische Korrekturwirkung einer sich in gleicher Weise deformierenden refraktiven optischen Oberfläche.

05 Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert, es zeigen:

Figur 1: einen schematischen Ausschnitt einer Projektions-  
belichtungsanlage mit einer Korrekturstrahlungs-  
10 einrichtung;

Figuren 2 bis 4: Aufsichten auf ein optisches Element,  
welches mit Projektionslicht und mit Korrektur-  
strahlung beaufschlagt ist;  
15

Figur 5: einen zu Figur 1 ähnlichen Ausschnitt einer  
alternativen Projektionsbelichtungsanlage  
mit einer Korrekturstrahlungseinrichtung;

20 Figur 6: einen vergrößerten Ausschnitt aus einer Pro-  
jektionsoptik mit einer alternativen Korrektur-  
strahlungseinrichtung; und

Figur 7: einen vergrößerten Ausschnitt aus einer Pro-  
jektionsoptik mit einer nochmals alternativen  
25 Korrekturstrahlungseinrichtung.

Die in Figur 1 insgesamt mit dem Bezugszeichen 1 bezeich-  
nete Projektionsoptik ist Teil einer Projektionsbelichtungs-  
30 anlage der Mikrolithographie. Die Projektionsoptik 1  
dient zur Abbildung einer Struktur einer in Figur 1 nicht  
dargestellten Maske auf einen Wafer 2. Aufgebaut ist die  
Projektionsoptik 1 aus einer Mehrzahl reflektiver und  
refraktiver optischer Elemente, deren genaue Anordnung  
35 hier nicht im einzelnen interessiert.

Zur Projektionsbelichtung wird die Projektionsoptik 1 von einem Projektionslichtbündel 3 durchtreten. Das Projektionslichtbündel 3 hat eine Wellenlänge im tiefen  
05 Ultraviolett, z.B. bei 157 Nanometer. Der Bündelquerschnitt des Projektionslichtbündels 3 im Bereich einer brechenden Fläche einer Linse 4 der Projektionsoptik 1 ist in den Figuren 2 bis 4 dargestellt: Das Projektionslichtbündel 3 durchtritt diese Fläche mit einem rechteckigen Quer-  
10 schnitt mit einem Seitenverhältnis von ca. 1:3.

Das Projektionslichtbündel 3 belichtet eine Fotoresistschicht 14 des Wafers 2, die auf einem Substrat 15 aufgebracht ist (vgl. die Ausschnittsvergrößerung in Figur  
15 1).

Auf die in den Figuren 2 bis 4 dargestellte brechende Fläche der Linse 4 ist ein Korrekturstrahl 5 gerichtet (vgl. Fig. 1), der von einem Laser 6 erzeugt wird. Der  
20 Korrekturstrahl 5 hat eine Wellenlänge im mittleren infraroten Bereich (3 bis 30  $\mu\text{m}$ ), die vom Material der Linse 4 absorbiert wird. Der Laser 6 zur Erzeugung des Korrekturstrahls 5 kann beispielsweise eine Laserdiode sein. Auch andere Laserlichtquellen, z.B. ein HeNe-Laser  
25 bei 3,391  $\mu\text{m}$  oder ein durchstimmbarer frequenzverdoppelter  $\text{CO}_2$ -Laser (typischerweise durchstimmbar zwischen 4,6 und 5,8  $\mu\text{m}$ ) stehen in diesem Wellenlängenbereich zur Verfügung.

Die Fotoresistschicht 14 ist für die Korrekturstrahlwellenlänge unempfindlich.  
30

Bevor der vom Laser 6 erzeugte Korrekturstrahl 5 auf die Linse 4 trifft, durchtritt er zunächst einen optischen Modulator 7, mit dem die Intensität des durchtretenden Strahls beeinflusst werden kann, und wird nachfolgend  
35

von einem Scanspiegel 8 abgelenkt. Letzterer wird mechanisch von einer Scansteuerung 9 angesteuert. Eine derartige Scannertechnik ist z.B. für Laser-Displays bekannt.

- 05 Der Laser 6, der optische Modulator 7 sowie die Scan-  
steuerung 9 stehen über Signalleitungen mit einer zen-  
tralen Korrekturstrahlungssteuerung 10 in Verbindung.  
Über eine Datenleitung ist letztere mit einer CCD-Kamera  
11 verbunden. Diese wird mit einem Teilstrahl 12 des  
10 Projektionslichtbündels 3 belichtet, der aus dem Projek-  
tionslichtbündel 3 mit Hilfe eines im Strahlengang vor  
dem Wafer 2 angeordneten Strahlteilers 13 ausgekoppelt  
wird. Der Wafer 2 und die CCD-Kamera 11 sind dabei in  
zueinander äquivalenten Feldebene der Projektionsoptik  
15 1 angeordnet. Über eine weitere Datenleitung (Verbindung  
A-A) steht die Korrekturstrahlungseinrichtung 10 mit einer  
Wärmebildkamera 18 in Verbindung, deren Erfassungskegel  
19 in Fig. 1 mit gepunkteten Begrenzungslinien angedeutet  
ist. Die Wärmebildkamera 18 erfaßt die vom Korrekturstrahl  
20 5 bestrahlte Oberfläche der Linse 4.

Beispiele für Flächenbereiche 16', 16'', 16''' der Linse  
4, die mit dem Korrekturstrahl 5 abgescant werden können,  
zeigen die Figuren 2, 3 und 4:

- 25 Der Flächenbereich 16' (vgl. Figur 2) ist nach außen  
hin durch einen Umkreis um den rechteckigen Querschnitt  
des Projektionslichtbündels 3 und nach innen durch das  
Projektionslichtbündel 3 begrenzt.

- 30 Der Flächenbereich 16'' (vgl. Figur 3) weist zwei recht-  
eckige Teilbereiche mit der gleichen Querschnittsfläche  
wie das Projektionslichtbündel 3 auf, deren Längsseiten  
an den gegenüberliegenden Längsseiten der rechteckigen  
35 Querschnittsfläche des Projektionslichtbündels 3 derart

angrenzen, daß sich die Teilbereiche mit der Querschnittsfläche des Projektionslichtbündels 3 zu einem Quadrat ergänzen.

- 05 Der Flächenbereich 16''' (vgl. Figur 4) weist zwei quadratische Teilbereiche auf, deren Seitenlängen derjenigen der kurzen Seite der rechteckigen Querschnittsfläche des Projektionslichtbündels 3 entsprechen und die an den Längsseiten der rechteckigen Querschnittsfläche  
10 des Projektionslichtbündels 3 derart angeordnet sind, daß sich diese Querschnittsfläche mit den beiden Teilbereichen zu einer kreuzförmigen Struktur mit vierzähliger Symmetrie ergänzen.

- 15 Der Korrekturstrahl 5 wird folgendermaßen eingesetzt:

- Beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage treten aufgrund von Restabsorption des Projektionslichts in den optischen Elementen der Projektionsoptik 1 Abbildungsfehler auf. Diese werden mittels der CCD-Kamera  
20 11 vermessen und die entsprechenden Meßdaten an die Korrekturstrahlungssteuerung 10 weitergeleitet. Die Restabsorption des Projektionslichts verursacht eine Erwärmung der optischen Elemente der Projektionsoptik.  
25 Die Erwärmung der Linse 4 wird mit Hilfe der Wärmebildkamera 18 vermessen und die entsprechenden Meßdaten werden ebenfalls an die Korrekturstrahlungssteuerung 10 übermittelt.  
30 Letztere wertet die Meßdaten aus und setzt diese in entsprechende Steuersignale für die Scansteuerung 9, den optischen Modulator 7 und den Laser 6 um. Je nach der Art und der Symmetrie des gemessenen Abbildungsfehlers bzw. der gemessenen Erwärmung wählt die Korrekturstrahlungssteuerung 10 hierbei zunächst eine Gestalt eines Flächenbe-  
35

reichs 16 aus, in dem der Korrekturstrahl 5 auf die Linse 4 treffen soll. Anschließend wird die Scansteuerung 9 von der Korrekturstrahlungssteuerung 10 derart angesteuert, daß diese den Scanspiegel 8 zu entsprechenden Kippbewegungen zum Abscannen des ausgewählten Flächenbereichs 16 veranlaßt. Synchron zu dieser mechanischen Ansteuerung des Scanspiegels 8 steuert die Korrekturstrahlungssteuerung 10 den optischen Modulator 7 so an, daß eine bestimmte Intensitätsverteilung des Korrekturstrahls 5 innerhalb des Flächenbereichs 16 vorgegeben wird, welche anhand der Meßdaten der CCD-Kamera 11 zum Ausgleich des gemessenen Abbildungsfehlers bestimmt wurde.

Ferner steuert die Korrekturstrahlungssteuerung 10 den Laser 6 zur Optimierung der Wellenlänge des Korrekturstrahls 5 an. Über die Wellenlänge des Korrekturstrahls 5 läßt sich dessen Eindringtiefe in die Linse 4 vorgeben, da das Linsenmaterial eine unterschiedliche Absorption für Wellenlängen innerhalb des Durchstimmbereichs des Lasers 6 aufweist.

Mit Hilfe des den vorgegebenen Flächenbereich 16 (z.B. den Flächenbereich 16' gemäß Fig. 3) abscannenden Korrekturstrahls 5 wird, in der Regel durch eine Homogenisierung des Temperaturprofils der Linse 4, eine Kompensation von Abbildungsfehlern erzielt, die aufgrund von Restabsorptionen auftreten.

Alternativ zu einer Homogenisierung der Temperaturverteilung der Linse 4 kann auch eine gezielte Überkompensation durch entsprechende Bestrahlung der Linse 4 mit dem Korrekturstrahl 5 erzeugt werden, so daß der auf diese Weise in der Linse 4 erzeugte Abbildungsfehler den durch das Projektionslichtbündel 3 in den anderen optischen Elementen der Projektionsoptik 1 erzeugten Abbildungs-

fehler zumindest zum Teil kompensiert.

Eine zur Korrektur von Abbildungseigenschaften erforderliche  
Oberflächendeformation der Linse 4 kann auch durch gezieltes  
05 Erhitzen tieferer Stellen der Linse 4 durch einen entspre-  
chend konvergent eingestrahnten Korrekturstrahl 5 erfolgen.

Es ist nicht erforderlich, daß die CCD-Kamera 11 und  
die Wärmebildkamera 18 gleichzeitig installiert sind.  
10 Zum Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage reicht  
prinzipiell eine dieser beiden Sensoreinrichtungen aus.

Die Figuren 5 bis 7 zeigen alternative Ausführungsformen  
einer Projektionsoptik mit einer Korrekturstrahlungsein-  
15 tung. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die schon  
bezugnehmend auf die Figuren 1 bis 4 erläutert wurden,  
tragen um jeweils 100 erhöhte Bezugszeichen und werden  
nicht nochmals im einzelnen erläutert.

20 Figur 5 zeigt eine Teilansicht einer Projektionsbelich-  
tungsanlage mit einer Projektionsoptik 101, die vollstän-  
dig aus Spiegeln aufgebaut ist. Der Korrekturstrahl  
105 ist auf die reflektierende Oberfläche des Spiegels  
117 gerichtet. Bis auf den Laser 106 sind die weiteren  
25 Komponenten der Korrekturstrahlungseinrichtung, die zu  
denjenigen der Ausführung nach Figur 1 analog sind,  
weggelassen.

Figur 6 zeigt einen Teilausschnitt einer Projektionsop-  
30 tik 201 mit zwei Linsen 218, 219. Die der Linse 219  
zugewandte optische Oberfläche der Linse 218 wird von  
zwei Korrekturstrahlen 205', 205'' bestrahlt. Auf diese  
Weise ist diese trotz des in Bezug auf die bestrahlte  
Oberfläche recht flachen Einstrahlwinkels für mindestens  
35 einen Korrekturstrahl 205', 205'' überall zugänglich.

Die Korrekturstrahlen 205', 205'' werden von zwei separaten Lasern 206' und 206'' erzeugt. Alternativ ist es auch möglich, die beiden Korrekturstrahlen 205',  
05 205'' mit einem einzigen Laser und einer geeignet angeordneten Strahlteileranordnung zu erzeugen.

Die Korrekturstrahlen 205', 205'' werden in analoger Weise eingesetzt, wie dies in Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 4 beschrieben wurde. Die den Korrekturstrahlen 205', 205'' jeweils zugeordneten Scanspiegel 208', 208'' werden hierbei von einer Korrekturstrahlungssteuerung (nicht dargestellt) derart angesteuert, daß sich die durch sie angestrahlten Teilflächenbereiche zu einem  
15 Flächenbereich ergänzen, wie er beispielhaft bezugnehmend auf die Figuren 2 bis 4 erläutert wurde. Zusätzlich kann bei der Verwendung mehrerer Korrekturstrahlen die relative Intensität der Korrekturstrahlen zueinander eingestellt werden und es kann mit einer teilweisen  
20 Überlappung der angestrahlten Teilflächenbereichen zusätzlich die Temperaturverteilung der angestrahlten Linse 218 beeinflußt werden.

Figur 7 zeigt eine weitere Variante einer Korrekturstrahlungseinrichtung. Dort ist eine Linse 304 als Teil einer ansonsten nicht dargestellten Projektionsoptik 301 gezeigt, deren eine optische Oberfläche von zwei Korrekturstrahlen 305', 305'' bestrahlt wird. Diese werden von zwei separaten Lasern 305', 306'' erzeugt und jeweils  
30 von einem Scanspiegel 308', 308'' umgelenkt. Bei dieser Variante der Korrekturstrahlungseinrichtung stellt die nicht dargestellte Korrekturstrahlungssteuerung sicher, daß die Korrekturstrahlen 305', 305'' beim Abscannen des zu bestrahlenden Flächenbereichs auf der Linse 304  
35 sich auf der zu bestrahlenden Oberfläche überlagern.

Die Intensität der Korrekturstrahlen setzt sich daher nur auf der zu bestrahlenden Oberfläche aus der Summe der Einzelintensitäten der Korrekturstrahlen 305', 305'' zusammen. Überall sonst im Strahlengang der Korrekturstrahlen 305', 305'' liegt nur die Intensität von jeweils einem der beiden Strahlen vor.

Alternativ zum Einsatz bei der Korrektur von strahlungsinduzierten Abbildungsfehlern können die oben beschriebenen Ausführungsformen der Korrekturstrahlungseinrichtung auch zur gezielten Justage der Projektionsoptik eingesetzt werden. Dabei wird mit der CCD-Kamera 11 der Abbildungsfehler der Projektionsoptik 1 gemessen, der unabhängig von einer Bestrahlung mit dem Projektionslichtbündel 3 vorliegt. Dieser Abbildungsfehler kann dann mit Hilfe des Korrekturstrahls 5 analog zum oben Beschriebenen korrigiert werden.

Die beschriebenen Korrekturstrahlungsrichtung kann auch zur Bestrahlung optischer Elemente eingesetzt werden, die aus Materialien bestehen, die die Korrekturstrahlen nicht oder nur schwach absorbieren. In diesem Falle wird auf dem mit Korrekturstrahlen zu bestrahlenden optischen Element eine optische Beschichtung vorgesehen, die für Projektionslicht durchlässig ist und die Korrekturstrahlen absorbiert. Bevorzugt wird eine derartige Beschichtung so ausgeführt, daß sie bei Verwendung eines durchstimmbaren Lasers 6 eine Absorptionskante im Durchstimmbereich aufweist. In diesem Fall läßt sich die Eindringtiefe des Korrekturstrahls in das optische Element besonders gut beeinflussen.



## Patentansprüche

=====

05

1. Optische Anordnung, insbesondere Projektions-Belichtungsanlage der Mikrolithographie, insbesondere mit nicht rotationssymmetrischer Beleuchtung, z.B. mit schlitzförmigem Bildfeld,

10

a) mit mindestens einem optischen Element und

15

b) mit einer mindestens eine Korrekturstrahlungsquelle umfassenden Korrekturstrahlungseinrichtung, die dem optischen Element Korrekturstrahlung derart zuführt, daß die Abbildungseigenschaften des optischen Elements durch die Wärmebeaufschlagung des optischen Elements mit Korrekturstrahlung korrigiert werden;

20 dadurch gekennzeichnet, daß

die Korrekturstrahlungseinrichtung (6 bis 13; 106, 108; 206, 208; 306, 308) eine Scaneinrichtung (8, 9, 10; 108) mit mindestens einem Scanspiegel (8) umfaßt, wobei der Scanspiegel (8; 108) derart bestrahlt und angesteuert ist, daß ein definierter Bereich (16) einer optischen Oberfläche des optischen Elements (4; 117; 204; 304) mit Korrekturstrahlung (5; 105; 205; 305) abgescannt wird.

30 2. Optische Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von zusammenarbeitenden Korrekturstrahlungsquellen (206', 206''; 306', 306'') mit zugeordneten Scanspiegeln (208', 208''; 308', 308'') vorgesehen ist.

35

3. Optische Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (7) zur Intensitätsmodulation des Korrekturlichts vorgesehen ist, die mit der Scaneinrichtung (8, 9, 10) zusammenarbeitet.
- 05
4. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Scaneinrichtung (8, 9, 10) in Signalverbindung mit einer die optische Anordnung (1) überwachenden Sensoreinrichtung (11, 18) steht, wobei die Scaneinrichtung (8, 9, 10) die von der Sensoreinrichtung (11, 18) empfangenen Signale zur Ansteuerung des abzuscannenden Bereichs (16) des optischen Elements (4) verarbeitet.
- 10
5. Optische Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) die Abbildungseigenschaften der optischen Anordnung (1) überwacht.
- 15
6. Optische Anordnung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) einen positionsempfindlichen optischen Sensor (11) umfaßt.
- 20
7. Optische Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor ein CCD-Array (11) ist.
- 25
8. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) die Temperatur der optischen Anordnung (1), insbesondere der optischen Komponente (4), überwacht.
- 30
9. Optische Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) eine Wärmebildkamera (18) umfaßt.
- 35
10. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturstrahlungsquelle (6; 106; 206; 306) ein Laser ist.

11. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
05 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturstrahlungsquelle (6; 106; 206; 306) in ihrer Wellenlänge veränderlich ist.
12. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
10 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionswellenlänge der Korrekturstrahlungsquelle (6; 106; 206; 306) größer ist als 4  $\mu\text{m}$ .
13. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
15 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Anordnung (1) mehrere optische Elemente umfaßt, die von der Korrekturstrahlung (5) durchstrahlt werden, wobei die Wellenlänge der Korrekturstrahlung (5) und die Materialauswahl der optischen Elemente derart sind, daß nur das  
20 mindestens eine optische Element (4), dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, von der Korrekturstrahlung (5) mit Wärme beaufschlagt wird.
14. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis  
25 12, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Anordnung (201) mehrere optische Elemente (204, 219) umfaßt und daß die Korrekturstrahlung (205) so gerichtet ist, daß nur das mindestens eine optische Element (204), dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, von der  
30 Korrekturstrahlung (205) bestrahlt wird.
15. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element, dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden  
35 sollen, eine Absorptionsbeschichtung für die Korrektur-

strahlung aufweist.

16. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, die eine Projektionslichtquelle aufweist,  
05 die eine projektionslichtempfindliche Schicht (14) auf  
einem Substrat (15) beleuchtet, dadurch gekennzeichnet,  
daß die projektionslichtempfindliche Schicht (14) so  
ausgeführt ist, daß sie von der Korrekturstrahlung (5)  
nicht beeinflußt wird.

10

17. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das optische  
Element (4; 204; 304) ein refraktives optisches Element  
ist.

15

18. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16,  
dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element (117)  
für die Strahlung einer Projektionslichtquelle reflektie-  
rend ist.

Fig. 1

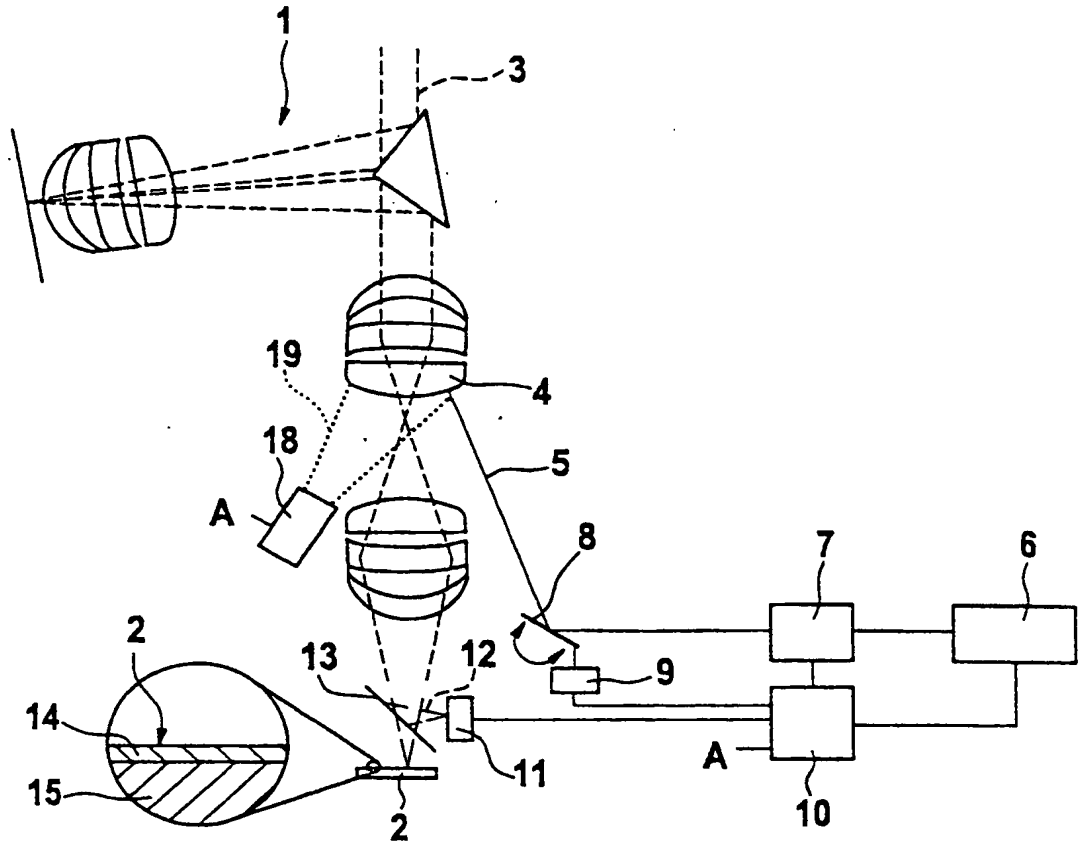
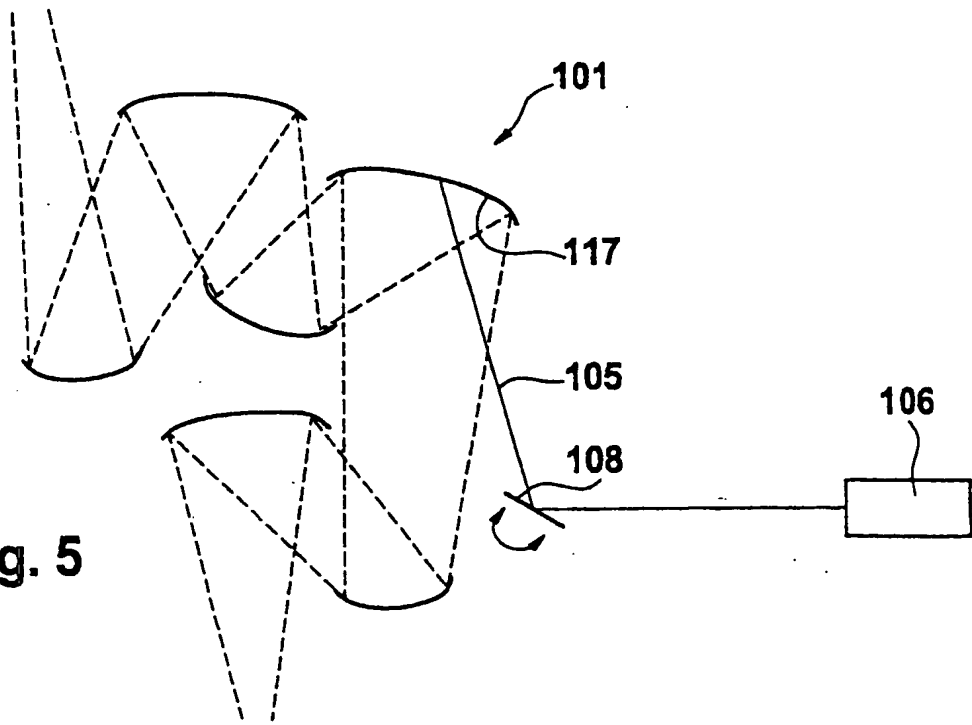
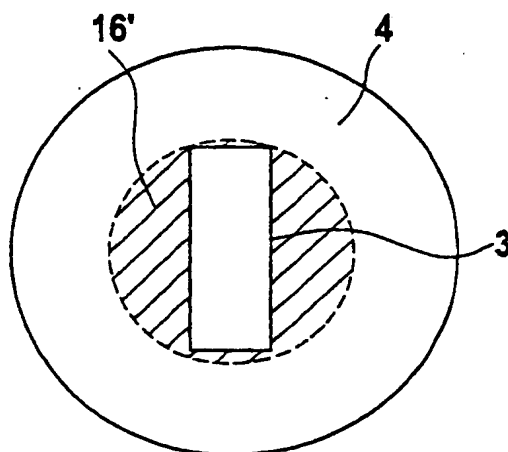


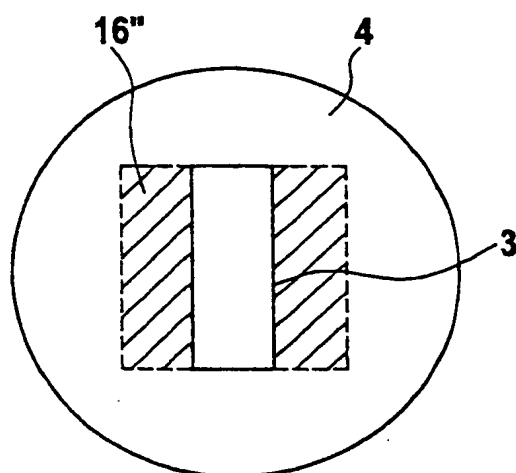
Fig. 5



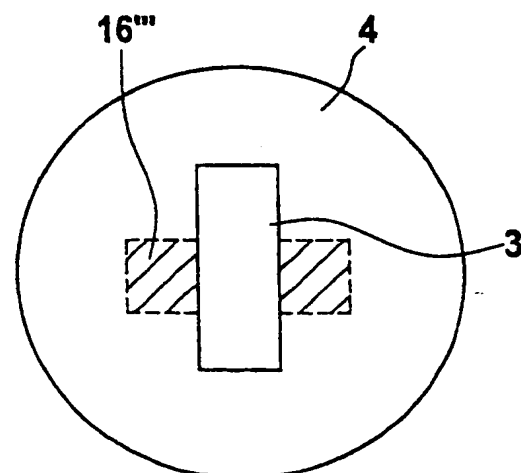
**Fig. 2**



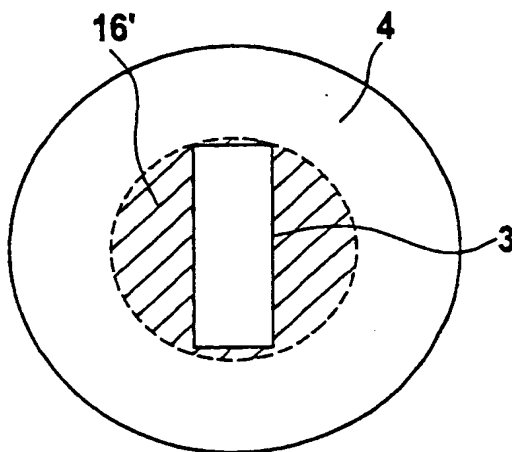
**Fig. 3**



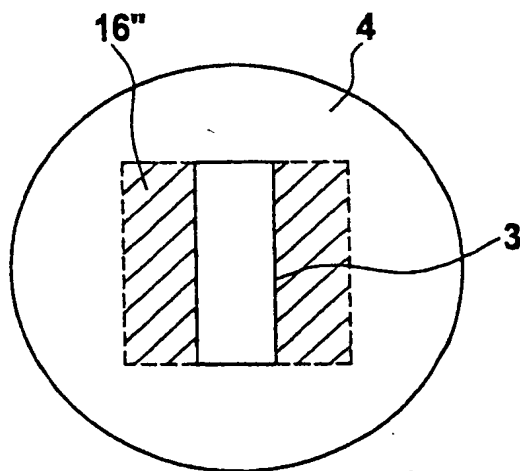
**Fig. 4**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

